

高等學校試用教材

汽車修理

吉林工業大學編
汽車拖拉機修理教研室

人民交通出版社

高等學校試用教材

汽車修理

(汽車运用与修理专业用)

吉林工业大学
汽車拖拉机修理教研室 編

人民交通出版社

高等学校試用教材

汽車修理

吉林工业大学 編
汽車拖拉机修理教研室

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版业營業許可証出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店經售

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1962年6月北京第一版 1982年6月北京第一次印刷

开本: 787 × 1092 毫米 印張: 22 1/2 張 插頁 4

全書: 510,000 字 印數: 1—3,550 册

統一書号: 15044·4379

定价(10): 2.95元

本書內容包括：汽車零件的磨損、汽車修理工藝、汽車零件修理工藝、車身修理工藝、輪胎修理工藝、汽車修理企業設計。

本書作為交通高等院校汽車運用與修理專業試用教材，亦可供交通部門有關專業人員工作或業餘學習的參考。

希望使用本教材的單位或個人，多多提出改進意見，逕寄吉林工業大學汽車拖拉機修理教研室，以便再版時修改。

目 录

前 言	5
緒 論	6

第一篇 汽車零件的磨損

第一章 磨損的基本概念	8
第一节 磨耗过程	8
第二节 影响磨耗的因素	14
第二章 汽車主要零件的磨損	16
第一节 气缸-活塞环的磨損	17
第二节 曲軸軸頸和軸承的磨損	20
第三节 齿輪的磨損	23
第三章 研究磨損的方法	25
第一节 运行研究和實驗室研究	25
第二节 确定磨損量的方法	28

第二篇 汽車修理工艺

第四章 汽車修理工艺过程	37
第五章 汽車的接收、拆卸及装配	40
第一节 汽車修理前的准备、驗收和外部清洗	40
第二节 汽車的拆卸与装配	42
第六章 汽車零件的清洗和除油	55
第一节 除油	55
第二节 清除积炭	57
第三节 清除水垢	59
第四节 零件清洗工作地的平面布置	60
第七章 汽車零件的檢驗与分类	61
第一节 零件檢驗分类的技术条件	61
第二节 零件磨損尺寸与几何誤差的測定	63
第三节 隐蔽缺陷的检查	64
第四节 檢驗分类間的平面布置	71
第八章 总成的装配与試驗	71

第一节	选配、配套与修合	71
第二节	典型零件的装配	75
第三节	主要总成的装配	79
第四节	总成的磨合与试验	84
第九章	汽车的路试	92

第三篇 汽车零件修理工艺

第十章	汽车零件的机械加工修复法	94
第一节	修理尺寸法	96
第二节	附加零件法	98
第三节	零件部分更换修理法	99
第四节	转向和翻转变形修理法	101
第十一章	汽车零件的堆焊和焊接修复法	102
第一节	汽车零件的潜弧自动堆焊	103
第二节	汽车零件的电脉冲堆焊	110
第三节	二氧化碳气体保护焊	119
第四节	汽车铸铁零件的焊接	123
第五节	焊接和堆焊间设备的平面布置	129
第十二章	汽车零件的电镀修复法	130
第一节	电镀技术中的主要术语	131
第二节	镀铬	132
第三节	镀锌	144
第四节	镀铜	149
第五节	镀镍	151
第六节	电镀的设备	152
第七节	电镀间设备的平面布置	155
第十三章	汽车零件的金属喷镀修复法	156
第一节	金属喷镀过程的实质	156
第二节	喷镀层的物理机械性质	159
第三节	金属喷镀的工艺过程	162
第四节	金属喷镀的设备	164
第五节	金属喷镀间的平面布置	167
第十四章	汽车零件的压力加工修复法	168
第一节	压力加工规范和工艺参数的选定	168
第二节	压力加工法修理汽车零件	171
第十五章	汽车零件的电火花加工修复法	177
第一节	金属电火花加工的基本概念	177

第二节	电火花鍍盖	178
第三节	电火花鍍盖工艺及其应用	181
第十六章	汽車零件胶补修复法	184
第十七章	汽車零件修理方法的选择	186
第一节	零件修理方法选择的原則	186
第二节	汽車零件修理工艺規程的制定	188
第十八章	气缸体的修理	191
第十九章	曲軸的修理	199
第二十章	凸輪軸的修理	205
第二十一章	抗磨合金軸承的修理	208
第一节	发动机曲軸軸承的抗磨合金	208
第二节	巴氏合金軸承的澆鑄工艺	212
第三节	銅鉛合金軸承的澆鑄工艺	216
第四节	軸承澆鑄后的机械加工	219
第二十二章	花鍵和齿輪的修理	221
第一节	花鍵的修理	221
第二节	齿輪的修理	224
第二十三章	柴油泵柱塞副和噴油咀的修理	227
第一节	柱塞副的修理	228
第二节	油閥副的修理	234
第三节	噴咀的修理	235

第四篇 汽車車身及車架修理工艺

第二十四章	車身修理工艺过程	239
第二十五章	車身的拆卸与装配	241
第二十六章	木工工作	249
第二十七章	板金工作	255
第二十八章	鉗工-附件、玻璃及縫工工作	264
第二十九章	漆工工作	268
第三十章	車架的修理	273

第五篇 汽車輪胎修理工艺

第三十一章	輪胎翻新与修补	278
第一节	輪胎的接收檢驗	278
第二节	輪胎的翻新	281
第三节	輪胎的修补	286

第三十二章	輪胎修理用材料及硫化囊.....	292
第三十三章	內胎的修理.....	296
第三十四章	輪胎修理車間的平面布置.....	298

第六篇 汽車修理企业設計

第三十五章	概述.....	300
第三十六章	初步設計.....	303
第三十七章	技术設計.....	323
第一节	第一类生产車間的設計.....	324
第二节	第二类生产車間的設計.....	331
第三节	第三类生产車間的設計.....	337
第四节	修理厂生产車間的技术經濟指标.....	340
第五节	輔助車間的設計.....	340
第六节	倉庫設計.....	342
第七节	車間动力的計算.....	344
第八节	技术設計工艺部分文件的編制.....	348
第三十八章	施工設計.....	351
主要参考书刊	354

前 言

本書由交通部人事局組織編寫，作為高等學校汽車運用與修理專業汽車修理學課程的教材。

全書共分六篇。第一篇是汽車修理的理論基礎。主要從摩擦磨損的基本理論出發，討論與分析汽車主要零件的磨損規律並介紹機構耐磨性試驗的方法。第二、三篇較詳細地討論了汽車拆卸與裝配的工藝過程、汽車磨損零件修復方法的基本原理及其工藝過程，對各種現代化修理機具設備的工作原理、結構特點及設計原則，也在有關章節中作了介紹。第四、五篇簡略地討論了車身、車架和輪胎的修理工藝過程。第六篇討論汽車修理企業的設計程序與方法。並通過課程設計與畢業設計，使學生具備組織生產和從事設計汽車修理企業的能力。

本書是根據1959年修訂“汽車修理學”教學大綱所規定的基本內容，以我校自編的“汽車修理學”講義為基礎，結合幾年來的教學經驗編寫而成。在編寫過程中，參攷了國內外有關文獻和工廠生產實踐的經驗。由於編者水平有限，編寫時間倉促，遺漏和錯誤之處在所難免。竭誠希望讀者提出批評和建議，以便在再版時修訂。

本書初稿蒙交通部交通科學研究院、長春汽車運輸科學研究所、西安公路學院，山東交通專科學校和吉林省交通廳等單位參加審查，提供了很多寶貴意見，我們表示衷心感謝。

吉林工業大學汽車拖拉機修理教研室

1961年11月於長春

緒 論

汽車運輸業在社会主义經濟建設中占有重要地位，而汽車修理業是汽車運輸業的一個重要組成部分。

汽車在使用過程中，由於機構的自然磨損和其它損傷，逐漸喪失工作能力。汽車修理業的任務，在於迅速恢復汽車喪失的功能，使其完成更多的運輸工作。

正確地組織汽車修理生產，可以提高汽車運輸生產率，降低運輸成本，因為：

1) 提高汽車的修理質量，縮短汽車的停修時間，就增加了汽車的運行車日，這樣便為汽車運營部門提供更多運輸能力；

2) 延長汽車的大修間隔里程，擴大舊件修復範圍，減少汽車配件的消耗，就節省了汽車運輸每噸公里的修理費用，從而降低了運輸成本。

在舊中國，由於帝國主義的掠奪，經濟的落后，我國成了資本主義國家的傾銷市場，汽車及其配件也不例外，在汽車修理企業里，修理工作只是更換配件，修理設備極為簡陋，沒有一套完整的保養—修理制度，汽車的技術狀況極為惡劣。大批車輛缺件停駛，破爛不堪。

解放後，汽車修理企業收歸國有。即從事將殘缺不全的舊有汽車修復充分使用，支援了城鄉物資交流和各方面的需要；另一方面，在兄弟國家的援助下，建立了自己的汽車製造工業。隨着我國汽車數量的增加，汽車修理業也迅速發展，新型的汽車修理企業逐步建立，全國性的汽車修理服務網已經初步形成。

從1958年大躍進以來，汽車的貨物運輸量大大增加。運輸能力雖有很大增長，但仍然不能適應運量增加的需要，為了解決這一問題，全國的汽車修理企業，在縮短汽車大修停廠車日方面作了不懈的努力。由於合理地進行工藝組織，開展了技術革新與技術革命運動，使汽車大修停廠車日大大縮短，從而提高了汽車運輸企業的完好車率，在不增加車輛的情況下，為汽車運輸企業增加了大量的運輸能力。

為了克服配件不足的困難，1954年以來，在汽車修理企業中，開始廣泛地進行舊件修復工作。許多過去已經報廢了的零件被收集起來，修復利用，這樣不但降低了修理成本，而且為國家節約了大批優質鋼材。過去只是局限於使用鍛、焊、冷敲、鑲配等一般的修理方法，現在進而掌握並運用了金屬噴鍍、電鍍、電火花加工、電脈沖堆焊等修理技術，提高了修理工作的技術水平。

汽車修理學是一門工藝性的科學，是研究恢復已損壞的汽車及其零件的功能，以提高汽車修理的生產效率和降低修理成本的一門科學。

學習本課程的目的在於獲得汽車修理的基本理論知識與一定的實際操作技能，初步掌握汽車修理生產的方法。為此，應掌握下列幾方面的知識：

1) 汽車零件的磨損規律以及提高零件耐磨性的措施。這是汽車修理工作的理論基礎。

2) 汽車及車身的修理工藝，快速修理的技術組織措施。因為採用完善的修理工藝可以提

高汽車修理質量和降低修理成本。

3) 汽車零件 (包括輪胎) 修理工藝, 包括各種修復方法的基本原理及選擇合理修理方法的原則, 以保證既節約修理費用又延長零件的使用壽命。

4) 汽車修理企業的設計原理。

汽車修理學是汽車運用與修理專業的专业課程之一。由於近代修理生產的發展, 很多新技術成就獲得採用, 因此汽車修理學課程與基礎理論課和基礎技術課有密切的聯繫。如在零件檢驗分類方面——螢光探傷、超聲波探傷等以物理學和電子學為基礎的方法逐漸獲得應用; 零件的各種鍍蓋修復方法, 要廣泛應用化學、金屬學、電工學等方面的基本理論。因此學生在學習本課程以前, 應充分掌握教學計劃中所規定的基礎課程和基礎技術課程的理論知識。

學習本課程時, 必須堅持理論聯繫實際的方法。這門科學的產生來自生產實踐, 同時又服務於生產實踐, 任何一個修理方法的發展與完善都是要經過實踐的檢驗。因此除了課堂講授以外, 還必須通過實驗課, 課程設計和生產實習等教學環節, 豐富實踐知識, 培養學習和研究科學的正確方法。

第一篇 汽車零件的磨損

在汽車的使用过程中，儘管我們遵循技术条件的規定来正确地使用汽車，定期地进行技术保养，汽車零件的正常配合特性仍不可避免地会遭到破坏。产生这种现象主要是由于各种动配合零件的表面在相对运动中产生摩擦使接触表面产生磨耗，結果，便改变了零件的形状、尺寸和表面質量，最后使零件丧失工作能力。

如果零件磨耗迅速，将增加汽車检修和調整的次数，甚至要求提前大修。因此提高零件的耐磨性，对于提高汽車的工作可靠性和延长汽車的使用寿命具有特別重要的意义。零件的耐磨性主要取决于零件表面的性質和材料，而正确地选取零件表面的性質和材料又取决于对零件磨耗規律的了解程度。只有在掌握了汽車主要零件的磨耗規律性以后，才能在使用过程中采取合理的技术措施、在汽車修理过程中选择合理的修理工艺，以保証提高汽車的使用寿命。也只有在研究零件磨損規律的基础上，才可能确定零件不需修理的容許磨損量，制訂汽車的检查分类技术条件，以及正确地制訂汽車保养和修理周期，并对那些足以影响整个总成使用寿命的零件进行改进，或提供改进設計的資料。

摩擦磨損是一个复杂的问题。它是一系列物理的、化学的、机械性質的現象的綜合。目前尚未建立一套完整的理論足以解释在實驗中所观察到的全部現象。在本篇中只能一般性的介紹磨耗的基本概念，着重闡述汽車主要零件的磨耗規律及研究磨損的方法。

第一章 磨損的基本概念

第一节 磨耗过程

物体在摩擦时，其表面尺寸逐渐改变的过程称为磨耗。磨損則是磨耗的結果。磨損程度可用摩擦物体的尺寸或重量或体积的改变量来衡量。进行磨耗試驗时，試件尺寸和重量的减少值，称为絕對磨損。試件（零件）的絕對磨損与摩擦距离之比称为磨耗强度或磨耗速率。試件或零件的絕對磨損与相应的試驗時間之比称为磨耗速度。材料（零件，配合副）抵抗磨耗的性質称为耐磨性。

摩擦与磨耗是在法向載荷作用下的两个接触物体作相对运动时，在接触表面上所发生的同一个現象的两个方面。磨損伴随着摩擦而产生，但是摩擦系数与磨損量之間并不存在着某种規律关系。例如在边界摩擦中，摩擦系数比于摩擦小数倍，而磨損却小一千倍，甚至更多，这一点足以表明磨耗是复杂的过程，它是物理、机械、化学現象的綜合。每一种現象以及所有現象的綜合，对于外界条件（运动性質、載荷性質、单位压力、滑动速度、摩擦表面的溫度及周圍介質等）都很敏感。因此对于磨耗过程在很多方面的解释都不一致，而观察到的現象及所得到的結論都受到試驗条件的限制，不能以此概括其他的磨耗現象。

苏联学者И.В.柯拉盖尔斯基从摩擦的分子—机械理論出发将磨耗过程分成依次进行的

三个现象:

- 1) 摩擦表面互相作用;
- 2) 摩擦表面层产生变化;
- 3) 表面破坏。

摩擦表面在相对移动的过程中产生机械性的相互作用—嵌入, 和分子的相互作用—吸引和粘附。

摩擦表面存在着一定的粗糙度, 在摩擦过程中仅仅是表面各个凸起点互相接触, 接触点的数量取决于法向载荷, 表面的机械性质以及表面的粗糙度。这些点在摩擦时受压应力和切线应力的作用而产生变形, 变形的性质取决于摩擦表面互相嵌入的深度。因表面各个凸起点的高度是不相同的, 故接触点互相嵌入的深度也不同, 嵌入深的便产生塑性变形甚至擦伤, 嵌入浅的便产生弹性变形。显然, 在多次塑性变形和弹性变形之后, 表面层金属会被强化, 形成残余压应力, 表层便逐渐处于过冷硬的状态, 性质变脆。当作用的载荷大于金属的屈服点时, 便产生疲劳现象, 在表面层产生显微裂纹和裂缝, 裂纹的深度和宽度随着摩擦表面的继续工作而增大, 结果表层便会破坏。

在表面凸起互相嵌入的同时还产生分子的互相作用, 使表面互相吸引, 当分子互相作用很大时, 摩擦表面之间便产生分子粘附, 表面相对运动的结果, 便在这些粘附部位产生机械性的破坏。若粘附部分的强度小于基部材料的强度, 就在粘附处发生破坏, 当粘附部分强度大于基部材料时, 则伴随着表面的相对移动产生深度撕扯的现象。

在金属层变形的同时, 表面接触区会产生大量的热, 表面层受热的温度若高于再结晶温度或恢复温度, 则在表面变形时材料不会发生强化, 且由于恢复的作用还会使塑性提高。受热的温度过高时, 材料在滑动方向可能发生塑性流动, 甚至使接触部位的金属软化, 相互熔合在一起, 增强分子互相作用的过程。若接触点的温度突然升高到相变温度并瞬间冷却, 便会在表层引起相变, 在表层产生压应力或拉应力, 表层金属在应力的作用下产生超微观裂纹, 松散, 而使表层形成疲劳破坏。

摩擦过程中, 摩擦表面还会与周围介质互相作用, 形成氧化薄层, 在高温和塑性流动的情况下, 氧还会向表层金属内扩散, 与金属形成氧的化合物, 并溶解于金属中, 这些氧的固体和化合物改变了金属的比容, 造成内应力, 使表层金属处于脆硬的状态。

在表面的两种互相作用下, 产生的机械变化、化学变化和结构变化, 随着摩擦条件的不同, 其程度是不相同的, 因而摩擦表面的破坏过程和形式也各不相同。苏联学者B·B阔斯节茨基将磨损过程分成五类: 第一类粘附磨损、氧化磨损、第二类粘附磨损(热磨损)、磨料磨损、麻点磨损。

第一类粘附磨损 粘附磨损的实质是在滑动摩擦过程中两接触表面产生金属联系, 相对移动的结果使联系部位破坏, 它使摩擦表面遭受到强烈的破坏(图1-1)。

当滑动摩擦的相对移动速度较小, 单位压力超过摩擦表面实际接触部位的屈服极限时, 接触部位的表层金属产生严重的塑性变形, 接触点互相嵌入使该部位的氧化膜破坏, 呈现出新的金属表面, 以致使摩擦表面接触部位的距离等于晶格原子的尺寸, 在分子吸引力的作用下, 接触部位便产生金属联系。表面继续相对移动就使联系部位强化, 并将强度较小的金属表面挖走或将被强化的金属表面擦伤。

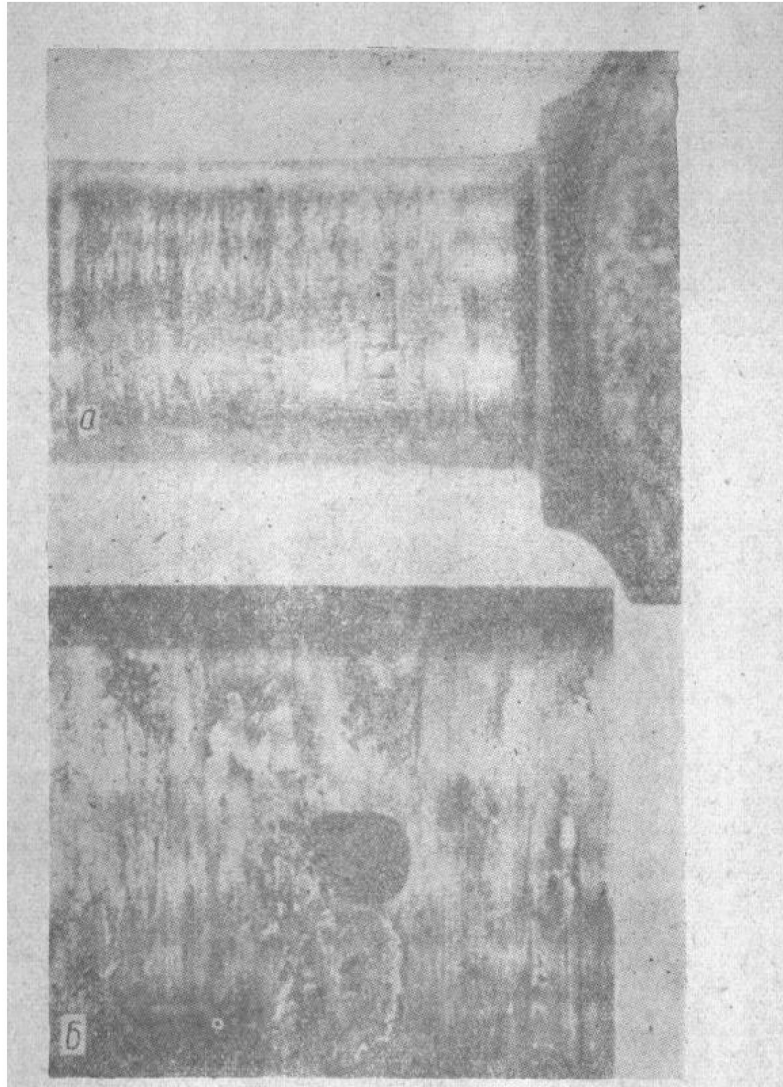


图1-1 第一类粘附磨耗的表面状态

a-格芬-51汽车差速器十字轴 ($\times 5$)；b-与差速器十字轴配合的齿轮表面 ($\times 5$)

从一个表面挖走的金属粘附在另一个表面上，形成金属瘤，而在挖走金属的部位产生应力集中，随后形成显微裂纹和裂缝，继续发展便引起疲劳破坏。粘在表面上的金属细粒在很大的传动力作用下，引起局部的塑性变形和高度的强化，使其硬度提高。摩擦过程中产生的细粘附粒便起着磨料的作用，使另一个配合表面遭到变形和破坏。粘附磨耗的继续发展会使摩擦表面遭到严重的磨损，甚至咬死。

汽车发动机有20%的零件的主要磨耗形式属于粘附磨耗，它的磨耗速度最大，可达10~15微米/小时。

氧化磨耗 它是摩擦表面逐渐破坏的过程。在磨耗过程中，氧吸附在摩擦表面，并向表层内扩散。在表面塑性变形的同时，表面形成氧的化学吸附膜、氧的固溶体膜及金属氧化物。在切向力与正压力的作用下，这些脆性的氧化物薄层便与表面分离，使表面逐渐损耗，如图1-2所示。

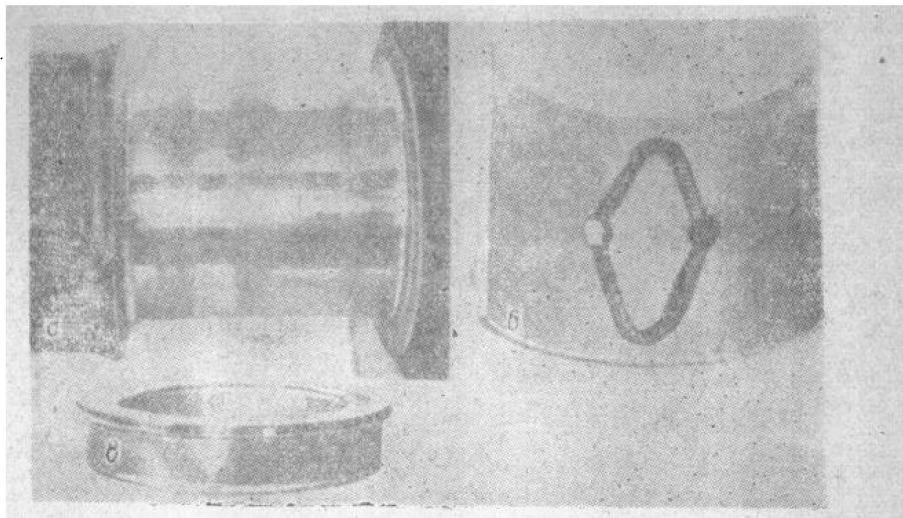


图1-2 氧化磨耗的表面状态

a-XT3 发动机连杆轴颈 ($\times 0.5$)；b-连杆轴承 ($\times 0.5$)；c-滚动轴承内座圈 ($\times 0.5$)

滑动摩擦和滚动摩擦的过程都能产生氧化磨耗，在滑动的干摩擦和边界摩擦中，氧化磨耗可能是主要的磨耗形式。

根据摩擦表面相对运动速度、单位压力和边界润滑的稳定性，氧化磨耗可以分成三种类型。

零件摩擦时的速度小，单位压力小，以及在稳定的边界润滑条件下，产生第一种类型的氧化磨耗。此时表面的互相作用是通过边界润滑油层进行，并取决于准弹性润滑油膜与固相表面的结合。由于化学吸附作用在摩擦表面形成一层超显微的金属氧化膜，随摩擦的进行，超显微氧化膜自摩擦表面分离产生磨损。此类氧化磨损的特点是：氧化膜的形成和自摩擦表面的排除是平衡的过程。在这个过程中没有发现很大金属容积的塑性变形，也没有明显的扩散现象。具有稳定的边界润滑是这一阶段氧化磨耗发生的必要条件。

当载荷增大时，便发展成为氧化磨耗的第二种类型。由于金属的显微容积的吸引和移动，表面的薄层金属产生显微塑性变形，它与空气中的氧互相作用，逐渐吸收氧，形成氧的固溶体和共晶体，使表层获得很大的活动性，并以显微薄膜的形态逐渐自摩擦表面被带走，使表面产生破坏。

摩擦表层继续吸收氧达到相当的浓度时，磨耗便突变到第三种类型。在表面继续形成氧与金属的化合物(FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3)，急剧地改变表面层金属的性质，使表层金属的比容增大，硬度提高(达900~1000公斤/毫米²)，具有非常大的脆性。硬脆表层在摩擦过程中以颗粒的形态剥落。当表层吸收氧的浓度与形成化合物所需要的浓度相适应时，又形成新的金属氧化物，使表层继续破坏。

氧化磨耗的特点是两种互相联系的过程——表层的显微塑性变形和在这些小容积塑性变形的金属上氧的扩散——同时进行。塑性变形促使氧的扩散，而扩散作用又使金属表层的活动性增加，从而加速变形过程。氧的扩散深度与变形深度有关，并取决于摩擦表面的单位压力和金属的性质。

氧化磨耗时，若单位压力超过油膜破坏的临界值，即达到足以使摩擦表面的吸附膜和氧

化膜完全破坏的数值，就会产生粘附磨耗。伴随着摩擦过程所产生的温度达一定值后，将促使氧化磨耗的发展。

曲轴主轴颈、连杆轴颈、气缸、活塞销、齿轮啮合表面、滚珠和滚柱轴承等汽车零件在工作过程中都会产生氧化磨耗，其磨耗速度为0.1~0.5微米/小时。

热磨耗（第二类粘附磨耗） 当滑动摩擦以很大的相对速度和很大的单位压力进行时，将产生大量的热，使磨耗表面温度急剧增长，可达1500°C，摩擦表面层的金属由于热的作用塑性增加，机械性质变坏。表层受热的结果，可能引起表层金属的回火、软化、甚至发生熔化，破坏表层的吸附膜和氧化膜。这时在受热软化的接触表面间便形成金属联系。表面相对运动的结果，就从金属联系部位的强度较低处产生破坏（图1-3）。热磨耗也是摩擦表面强烈的破坏过程。破坏的形式取决于表层的温度，可能是以颗粒状态自较软的部位脱落并粘附在强度较高的金属表面上。也可能是以熔化的金属薄层自表面带走的方式产生破坏。



图1-3 热磨耗的表面状态

a-汽车后桥半轴轴齿轮（圆柱表面磨损）（×1）；b-宏观表面（×5）

摩擦表层的温度很高时，其氧化作用增强，粘附磨耗的强度开始是逐渐降低，以后便急剧的下降。

气門头、凸輪軸凸輪、齿輪、气缸和曲軸頸等零件，在工作过程中都会产生热磨耗。磨耗速度可达1~5微米/小时。

磨料磨耗 滑动摩擦时，若在摩擦部位存在磨料，摩擦表面便在磨料的作用下产生显微变形或被切削，形成磨料磨耗（图1-4）。这是摩擦表面一种最简单的破坏形式。是一个强烈的磨耗过程。磨料磨耗仅与摩擦表面是否存在磨料物质有关。它可以存在于任何滑动速度和单位压力作用的摩擦表面上。摩擦功所形成的热会影响磨料磨耗，因其影响金属和磨料的机械性质。

摩擦表面間的磨料可能是由外界落入的，可能是磨耗过程的产物，也可能早已存在于摩擦表面上，如鑄鉄零件，鍍鉻和金属噴鍍零件的表面都存在有磨料顆粒。磨料磨耗强度取决于摩擦表面的性质、磨料的性质、滑动速度和单位压力。

麻点磨耗 麻点磨耗发生在滚动摩擦中。

滚动摩擦的单位压力超过表面层金属的屈服点时，就在接触部位的表层金属中产生显微塑性变形，使表层金属强化，表层金属的比容便增大，形成第一类残余压应力。随着摩擦过程的进行，表层的塑性变形逐渐积累，使金属比容再次增大，引起更大的残余压应力。由于载荷的重复作用，便产生金属疲劳现象，引起表层金属的破坏、形成显微裂纹。所形成第一条裂纹与摩擦表面成30°斜角分布。第一条显微裂纹继续发展并形成新的显微裂纹和裂缝，由于润滑油的楔形作用及金属的腐蚀，产生应力集中，加速裂纹的扩大和形成新的裂缝，结果使表层金属形成凹坑剥落，表层上的凹坑将成为继续破坏的中心。麻点磨耗的外观如图1-5所示。

摩擦表面的金属层塑性变形的深度决定了裂纹分布的深度和凹坑剥落的深度，而塑性变形强度表征了麻点磨损的发展速度。塑性变形的深度和强度是麻点磨耗的基本特性，其数值变化取决于接触点的单位压力、载荷值及其循环频率、接触表面的形状和尺寸，以及金属的机械性质。

在所有磨耗形式中，塑性变形是基本的过程。接触表面形成金属联系，表面层金属的强化和破坏、摩擦热的形成、扩散作用的变化、以及金属的特殊疲劳过程等现象，都与塑性变形过程密切关联着。滚动摩擦时（麻点磨耗过程）的塑性变形不同于滑动摩擦，它是由于作用在摩擦表面的正压力造成的，而滑动摩擦的塑性变形则是由于切向力的作用形成的。滚动摩擦的塑性变形不会促进摩擦表面粘附现象的发展，只会使接触表面产生特殊的疲劳破坏。

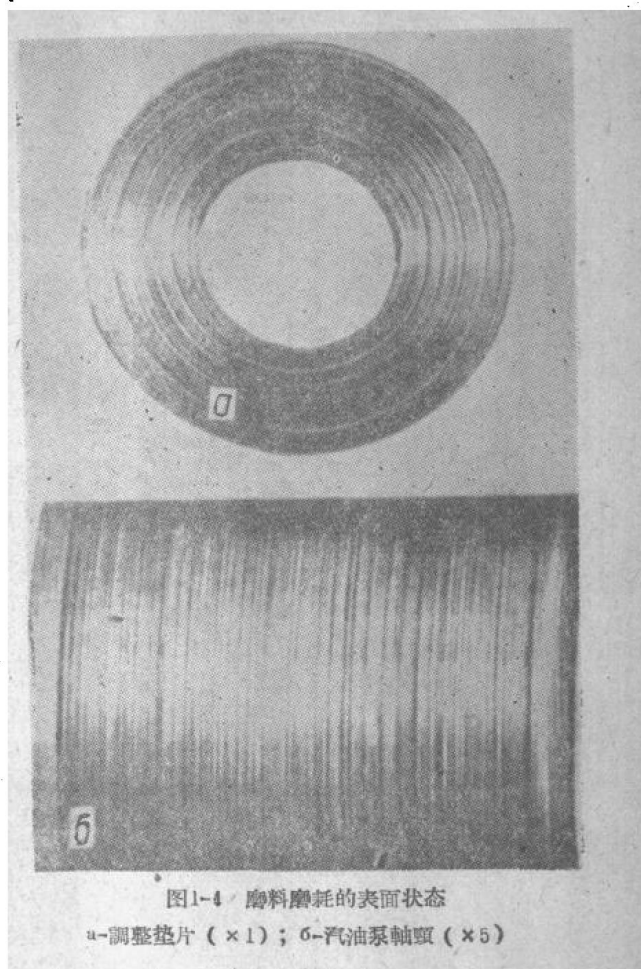


图1-4 磨料磨耗的表面状态

a-调整垫片 (x1); b-汽油泵轴颈 (x5)